

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**ALTERAÇÕES NAS FRAÇÕES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA  
DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA  
RECÉM IMPLANTADO**

**TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA**

**TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA**

**ALTERAÇÕES NAS FRAÇÕES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA  
DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA  
RECÉM IMPLANTADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

**Brasília, DF**

**Dezembro de 2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MOREIRA, Túlio Nascimento.

“ALTERAÇÕES NAS FRAÇÕES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA RECÉM IMPLANTADO”. Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2016. 37 páginas

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

1. Carbono lábil 2. Carbono da biomassa microbiana 3. Integração lavoura-pecuária

I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOREIRA, T. N. Alterações nas frações lábeis da matéria orgânica do solo em sistema de integração lavoura-pecuária recém implantado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 37 páginas. Monografia.

## CESSÃO DE DIREITOS

**Nome do Autor:** TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

**Título da Monografia de Conclusão de Curso:** Alterações nas frações lábeis da matéria orgânica do solo em sistema de integração lavoura-pecuária recém implantado.

**Grau:** 3º      **Ano:** 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA

CPF: 020.641.911-27

Rua Castro Moura Quadra 21 Casa 24

CEP: 72850-190, Luziânia, GO, Brasil.

(61) 991175783 / email: [tulio-14@hotmail.com](mailto:tulio-14@hotmail.com)

**TÚLIO NASCIMENTO MOREIRA**

# **ALTERAÇÕES NAS FRAÇÕES LÁBEIS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA RECÉM IMPLANTADO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

BANCA EXAMINADORA:

---

Cícero Célio de Figueiredo

Doutor, Universidade de Brasília – UnB

Orientador / email: cicerocf@unb.br

---

Gilberto Gonçalves Leite

PhD, Universidade de Brasília – UnB

Examinador / email: gleite@unb.br

---

Juliana Hiromi Sato

Mestre, Universidade de Brasília – UnB

Examinadora / email: jhsato@unb.br

*Dedico este trabalho à memória de meu pai Carlos  
Gonzaga Marreiros Moreira, e a minha mãe Maria  
da Conceição Nascimento exemplos de vida e a todos  
que contribuíram para minha formação.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente, agradeço a Deus por sempre estar presente, me concedendo bênçãos e me conduzindo ao caminho correto.*

*À memória de meu pai Carlos Gonzaga Marreiros Moreira.*

*A minha mãe Maria da Conceição Nascimento, pela luta e determinação na minha formação.*

*A minha família pelo apoio na minha formação, em especial aos meus tios, fontes de inspiração e orgulho.*

*Agradeço ao professor Dr. Cícero Célio de Figueiredo pelos ensinamentos, paciência e dedicação nesses anos de trabalhos realizados e pela contribuição ao meu crescimento pessoal e profissional.*

*Agradeço a professora Dra. Thaís Coser, pela contribuição direta na minha formação e paixão pela Ciência do Solo.*

*A toda equipe do Laboratório de Estudos da Matéria Orgânica do Solo, em especial Gustavo Zafalon, Thiago Santos, Boban Jovanovic, Helen, Juliana, Isis, que de alguma forma contribuíram na elaboração deste trabalho e na minha formação.*

*Aos amigos adquiridos dentro da Universidade de Brasília, e com certeza futuros excelentes profissionais.*

*Aos membros da diretoria do Centro Acadêmico de Agronomia nos anos de 2015 e 2016, nós escrevemos um pouco da história deste curso.*

*Aos docentes da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária pela dedicação nas aulas ministradas.*

*Muito obrigado!*

*“Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não havia pobreza no mundo e ninguém morreria de fome.”*

*Mahatma Gandhi*

MOREIRA, Túlio Nascimento. **Alterações nas frações lábeis da matéria orgânica do solo em sistema de integração lavoura-pecuária recém implantado.** 2016 Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília - UnB.

Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 35 páginas. Monografia.

## RESUMO

Alterações nos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), decorrentes da má utilização do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) no Cerrado, podem ter implicações na estrutura do solo, na capacidade de troca catiônica, além de impactos na emissão de gases de efeito estufa, visto que a MOS é o principal reservatório de carbono (C) nos sistemas agrícolas. Alterações na MOS podem não ser verificadas em sistemas recém implantados quando medidas pelo C orgânico total do solo (COT). Uma das alternativas é a determinação das frações lábeis do C do solo como o da biomassa microbiana (CBM) e do carbono lábil (CL), que são sensíveis a mudanças na MOS em função do uso do solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da implantação de sistema de ILP sobre as frações lábeis da MOS. O experimento foi realizado na fazenda experimental da Universidade de Brasília. Antes da instalação do experimento, a área encontrava-se em avançado processo de degradação, sendo implantado em 2012 o sistema de consórcio de milho (*Zea mays*) com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai. As amostras de solos foram coletadas nessas áreas antes da implantação do experimento (outubro de 2012) e na floração do milho (março de 2016), nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm. O CBM foi determinado pelo método da irradiação-extração e o CL por oxidação em solução de permanganato de potássio. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A implantação do ILP elevou os teores de CL em todas as profundidades avaliadas e os teores de CBM nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Na comparação com a área degradada, o consórcio de milho com *Panicum maximum* cv. Massai apresentou teores de CL na ordem de 52, 49 e 40% superiores nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Nessa mesma comparação, os teores de CBM foram superiores na área com ILP na seguinte ordem: 15, 40 e 3% nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Assim, o consórcio de milho com a forrageira de *Panicum maximum* cv. Massai elevou os teores de C nas frações lábeis da matéria orgânica, apesar do pouco tempo de implantação do sistema ILP.



Palavras-chave: Carbono da biomassa microbiana, carbono lábil, sistemas integrados.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Consórcio de milho com a forrageira <i>Panicum maximum</i> cv. Massay.....	25
<b>Figura 2.</b> Amostragem de solo na floração do milho.....	25
<b>Figura 3.</b> Carbono lábil ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em três profundidades, em área de consórcio de milho com a forrageira <i>Panicum maximum</i> cv. Massai.....	28
<b>Figura 4.</b> Carbono da biomassa microbiana ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em três profundidades, em área de consórcio de milho com a forrageira <i>Panicum maximum</i> cv. Massai.....	30

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Precipitação pluviométrica e temperatura média (2012 - 2015).....	23
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) antes da implantação do experimento.....	24

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. PASTAGENS DEGRADADAS NO CERRADO.....	14
2.2. RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS.....	15
2.3. USO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA RECUPERAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DAS PASTAGENS.....	16
2.4. ALTERAÇÕES NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM RESPOSTA A ADOÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.....	17
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.1. ALTERAÇÕES NO CARBONO LÁBIL APÓS IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA.....	27
3.2. ALTERAÇÕES NO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA APÓS IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA.....	29
4. CONCLUSÕES.....	31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

## 1. Introdução

O intenso crescimento populacional aumenta a demanda por alimentos, fibras e energia, aumentando a conversão de áreas nativas em áreas agrícolas. A utilização de mecanização intensiva, predominância da monocultura, aplicação de práticas inadequadas de manejo em extensas áreas de pastagens, resultam em mudanças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. A redução da matéria orgânica do solo (MOS) normalmente está associada ao aumento das emissões dos gases componentes do efeito estufa (GEE) intensificação dos processos de erosão, comprometendo a sustentabilidade das atividades agropecuárias em biomas como o Cerrado. Dessa forma, a adoção de tecnologias sustentáveis, para a manutenção e acúmulo de MOS se faz necessário no atual cenário de redução do desmatamento e mitigação dos GEE.

A pecuária é uma importante atividade econômica no Cerrado. Mais da metade das pastagens localizada nesse bioma apresenta algum estágio de degradação. São 32 milhões de hectares em que a qualidade do pasto não se encontra nas condições ideais, comprometendo a produtividade, causando prejuízos econômicos e ambientais (EMBRAPA, 2014).

Alterações na MOS podem não ser verificadas em sistemas recém implantados quando medidas pelo carbono orgânico do solo (COT), dependendo dos aportes de carbono no solo (ROSCOE & BUURMAN, 2003; FIGUEIREDO et al., 2013). Uma das alternativas é a adoção de métodos que quantifiquem as frações lábeis e estáveis do C do solo, indicadores da qualidade dos resíduos aportados e da matéria orgânica estabelecida no solo. Entre essas frações, as mais lábeis e ativas – como a biomassa microbiana e o carbono lábil – apresentam-se como as mais sensíveis para verificar mudanças na matéria orgânica em função do uso do solo (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992).

Desta forma este trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica das frações lábeis da MOS na recuperação da pastagem degradada em sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) recém implantado.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. PASTAGENS DEGRADADAS NO CERRADO

O Cerrado ocupa quase a totalidade de área do Brasil central, com aproximadamente 200 milhões de hectares, em sua maior parte na região Centro-Oeste. Os solos do Cerrado sob vegetação nativa têm sido diagnosticados de baixa fertilidade natural, ácidos, de baixa capacidade de troca de cátions, com predominância de óxidos de ferro e alumínio na fração argila, e com baixos teores de MOS e, portanto, com baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas (SOUSA & LOBATO, 2004). A baixa produtividade de pastagens representa um grave problema econômico e ambiental no Brasil, e especialmente no Cerrado. A recuperação da capacidade produtiva das pastagens seria uma forma de aumentar a produtividade agropecuária, sem promover incorporação de áreas nativas.

A degradação de pastagens é o processo evolutivo da perda de vigor, de produtividade, da capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais (DIAS-FILHO, 2011). A redução de produtividade de pastagens está associada a fatores como manejo inadequado, pragas, regime de chuvas, fertilidade e drenagem do solo, e a distribuição espacial dos atributos químicos e físicos do solo (DIAS-FILHO, 2011). No Brasil as principais causas de degradação de pastagens são o excesso de lotação e a falta de reposição de nutrientes (ZIMMER et al., 2011).

Dos 173 milhões de hectares de pastagens no Brasil, 117 milhões de hectares são de pastagens cultivadas. Estima-se que mais de 70% das pastagens cultivadas encontra-se em algum estágio de degradação, sendo que destas, uma grande parte em estágios avançados de degradação. Das áreas com pastagens cultivadas, mais de 70% foram formadas com forrageiras do gênero *Brachiaria*, o que permite inferir que mais de 80 milhões de hectares são de pastagens dessa espécie. Dentre as espécies mais cultivadas estão a *B. brizantha* e *B. decumbens*, que ocupam aproximadamente 90% da área total (ZIMMER et al., 2011). O uso desta espécie foi largamente difundido devido a sua capacidade de tolerar solos ácidos e de baixa fertilidade.

Nos anos de 1980, a degradação de muitas áreas de pastagens cultivadas passou a ser preocupação dos produtores, técnicos e dos governos federal e estadual. Desde então, tem havido o interesse de aliar cultivos anuais com a recuperação destas pastagens, com estudos

demonstrando resultados promissores, porém com baixa taxa de adoção pelos produtores. Mais recentemente a inclusão de espécies arbóreas em pastagens também tem demonstrado resultados significativos.

## 2.2 . RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS

Diante da preocupação em recuperar a capacidade produtiva das pastagens, devido a prejuízos na produção e degradação ambiental, surgiram diversas estratégias para a solução deste problema. De acordo com Dias-Filho (2011), as estratégias de recuperação de pastagens podem ser classificadas em três tipos: (i) renovação da pastagem; (ii) implantação de sistemas integrados de produção e; (iii) pousio da pastagem.

O governo federal brasileiro lançou no ano de 2010 uma política pública de recuperação de áreas improdutivas de pastagens por meio do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (PLANO ABC). O Plano ABC foi elaborado de acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010 e tem como objetivo a organização e planejamento das ações a serem realizadas para a adoção de tecnologias sustentáveis de produção, que tem como finalidade responder aos compromissos de redução de GEE no setor agropecuário assumido pelo país. O Plano ABC conta com uma linha de crédito aprovada pela Resolução BACEN nº 3.896 de 17/08/10.

Atualmente, a utilização de forrageiras associadas a culturas tem contribuído positivamente para a redução nos custos de formação e/ou recuperação de pastagens em solos de fertilidade corrigida. As forrageiras, geralmente, são utilizadas em consórcio com culturas anuais de interesse, ou em sucessão a estas culturas. Além da formação de pastagens, a associação de forrageiras do gênero *Brachiaria* e *Panicum* com culturas anuais ou em sucessão destas vem crescendo com o objetivo de se produzir palhada para o plantio direto, visto que estas culturas anuais produzem quantidade insatisfatória de biomassa. Rossi et al. (2011) avaliando o cultivo de braquiária (*Brachiaria ruziziensis*) em relação ao cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), ambas cultivadas na entressafra de soja (*Glycine max*) , observaram o maior acúmulo de biomassa seca na área onde se utiliza a braquiária como planta de cobertura, com valores estatisticamente superiores aos do sorgo com valores variando entre 6,10 e 3,85 Mg ha<sup>-1</sup>, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico no solo em

todas as profundidades avaliadas quando comparadas a área de referência. Estas gramíneas proporcionam maior cobertura do solo e suas palhadas permanecem por mais tempo no campo do que as de outras espécies, melhorando as condições físicas do solo pelo efeito aglutinante da MOS, que quando bem manejada, reduz a ocorrência de erosão a níveis não significativos (ROSSI et al., 2011). Além disso, a melhoria da oferta de forragem durante o período de seca, melhorando o desempenho animal durante esta época crítica.

### 2.3. USO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NA RECUPERAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DAS PASTAGENS

A reversão da degradação do solo pode ser realizada por meio de práticas conservacionistas do solo, como o sistema de plantio direto (SPD) e/ou ILP (LOSS et al., 2011). A ILP é caracterizada pela alternância de culturas numa mesma área, o cultivo de pastagens anuais ou perenes, destinadas à alimentação animal e a cobertura de solo, e graminíferas anuais (JUNIOR et al., 2009). Dentre as vantagens destaca-se o aumento do teor de MOS, aumento da ciclagem de nutrientes, maior diâmetro médio ponderados de agregados (SCHIAVO et al., 2012), aumento da atividade microbiana (CHÁVEZ et al., 2011), diminuição da mineralização da MOS, aumento do estoque de C no solo em profundidade e maior sequestro de carbono em áreas de cerrado (CAMPOS et al., 2013).

O adequado manejo do solo e de culturas é fundamental para o sucesso dos sistemas integrados de produção e manutenção dos teores de carbono do solo. O sistema ILP que se baseia na produção de grãos e pecuária na mesma área, em consórcio ou rotação, é um aperfeiçoamento dos sistemas conservacionistas. Após a adoção desse sistema, tem-se observado acúmulo de C e nitrogênio (N) no solo e aumento dos índices indicadores de qualidade do solo (LOSS et al., 2011).

O Sistema Barreirão, desenvolvido na década de 1980 pela Embrapa Arroz e Feijão, foi uma das primeiras práticas de manejo que conciliou atividades agrícolas e pecuárias numa mesma área (KLUTHCOUSKI et al., 1991), consistindo na consorciação do arroz de terras altas, milho, sorgo e milheto com forrageiras de pouca exigência em fertilidade, como as braquiárias, para recuperação/ renovação de pastagens. A característica principal é a aração profunda com arado de aivecas para fazer o condicionamento físico e



químico do solo, rompendo camadas compactadas ou adensadas. Atualmente, este sistema ainda é utilizado para implantação da ILP no Sistema Santa Fé.

As cultivares *P. maximum*, segundo Euclides et al. (2007), produzem altas quantidades de biomassa, exigem solo de fertilidade elevada, e proporcionam bons ganhos de peso aos animais. São adaptadas a solos bem drenados e exigentes em altas temperaturas, produzindo altas quantidades de forragem de boa qualidade. São facilmente estabelecidas em consórcios ou sucessão de culturas anuais, porém, apresentam competitividade com o milho, sendo necessária a aplicação de herbicidas em subdoses que reduzam seu desenvolvimento na fase inicial da cultura (EUCLIDES et al., 2007).

A ILP, estabelecida há apenas oito anos, pode alcançar um novo estado estável comparado ao sistema de plantio direto (SPD) com 23 anos de implantação (SILVA et al., 2011b). Além disto, promove o aumento no estoque de C e N nas frações lábeis e recalcitrantes da MOS (DA SILVA et al., 2012). Os benefícios proporcionados pela ILP, são causados pela introdução de espécies forrageiras que acumulam mais C no solo, devido à maior rizodeposição e o maior aporte de palhada em comparação às culturas agrícolas (ROSSI et al., 2011) e maior relação C/N (SALTON et al., 2011).

O sistema de ILP proporciona maiores acúmulos de C nas frações lábeis da MOS quando comparado ao SPD (SILVA et al., 2011b). Os fatores rotação de culturas, plantas de cobertura e pastejo no sistema ILP aumentam os teores de C e N nos macroagregados do solo em comparação ao SPD (LOSS et al., 2013).

#### 2.4. ALTERAÇÕES NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM RESPOSTA A ADOÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

A matéria orgânica é componente fundamental para a manutenção do potencial produtivo dos solos tropicais e subtropicais. A vegetação natural mantém o conteúdo de MOS em equilíbrio. O uso agrícola altera esse conteúdo, sendo observado, normalmente, uma redução acentuada quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento e sistema de culturas com baixa adição de resíduos vegetais (BAYER et al., 1999).

Tem sido crescente o interesse por sistemas de uso e de manejo que contribuam para o aumento dos teores de matéria orgânica em solos tropicais, devido às alterações nestes

teores contribuírem de maneira fundamental nas características físicas, químicas e biológicas do solo (LAL, 2004).

A manutenção ou recuperação dos teores de MO pode ser alcançada pela utilização de pastagens bem manejadas, ou no caso de sistemas agrícolas intensivos, pela utilização de métodos de preparo sem revolvimento ou com mobilização mínima do solo e por sistemas de elevada adição de resíduos vegetais ao solo, resultando em menores perdas e maior acúmulo de MO no solo (BAYER et al., 1999).

Alterações na MOS podem não ser verificadas em sistemas recém implantados quando medidas pelo COT do solo, dependendo dos aportes de carbono no solo (ROSCOE & BUURMAN, 2003; FIGUEIREDO et al., 2013). Uma das alternativas é a adoção de métodos que quantifiquem as frações lábeis e estáveis do C do solo, indicadores da qualidade dos resíduos aportados e da matéria orgânica estabelecida no solo. Entre essas frações, as mais lábeis e ativas – como a biomassa microbiana e o carbono lábil – apresentam-se como as mais sensíveis para verificar mudanças na matéria orgânica em função do uso do solo (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1992). A fração lábil apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo (meses ou alguns anos) e é considerada importante fonte de C (VON LÜTZOW et al., 2007). O carbono da biomassa microbiana constitui apenas 1-3% do carbono total do solo, sendo a fração mais ativa da matéria orgânica do solo (SMITH e PAUL, 1990; FRANZLUEBBERS et al., 2001).

A adoção do SPD no Cerrado é uma das tecnologias de manejo conservacionista de solos de maior sucesso na agricultura brasileira. A ausência de revolvimento do solo, aliado a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, contribui para o aumento nos teores C no solo (ENSINAS et al., 2014; LOSS et al., 2014), na sua estabilidade (ROSSET et al., 2016) e agregação do solo (LOSS et al., 2014), redução da densidade do solo (SCHIAVO et al., 2012) e das emissões de GEE (SALTON et al., 2014; LOSS et al., 2014), menores perturbações na fauna invertebrada (PORTILHO et al., 2011), em relação ao preparo convencional. Marchão et al. (2009) observaram que 13 anos de preparo convencional em cultivo contínuo em Latossolo não resultaram em mudanças significativas nos estoques de carbono orgânico total (COT), resultado diferentes foram obtidos do por Neto et al. (2010), que avaliaram os teores de COT após 23 anos de preparo convencional, e observaram redução de 30% do teor de COT em relação ao solo sob vegetação nativa, e após 12 anos de plantio direto os estoques de COT não diferem significativamente da vegetação nativa. Latossolos de textura argilosa, com elevados teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, contribui para aumentar a estabilidade da MOS, resultado da alta capacidade de proteção na forma de

complexos organo-minerais (SANTOS et al., 2014), fato este que contribui para a manutenção de estoques de C nas frações da MOS mesmo sob preparo convencional de solo. Assis & Lanças (2005), observaram que somente no sistema plantio direto com 12 anos ocorreram melhorias nos atributos físicos do solo em relação ao preparo convencional. O teor de COT aumenta em função do tempo de implantação do sistema plantio direto, entre SPD 6 anos e SPD de 22 anos de estabelecimento (ROSSET et al., 2016). Cavalcante et al. (2011) concluíram que o uso e manejo empregados induziram em ordem crescente, plantio direto, preparo convencional, e pastagem à degradação dos atributos físicos do solo, em relação ao cerrado. Os estudos comprovam o alto potencial dos SPD na melhoria das características físicas, químicas e biológicas, em condições tropicais em relação aos modelos convencionais de manejo do solo.

Devido ao baixo aporte de biomassa no SPD em lavoura contínua, em relação aos sistemas que utilizam forrageiras como planta de cobertura (ROSSI et al., 2011), têm sido verificado dificuldade na formação e manutenção de palhada para o SPD em condições tropicais. Com isso, a utilização de forrageiras de alta produção de biomassa, têm sido empregados no ILP sob plantio direto em rotação, sucessão ou consórcio de culturas. Nestes sistemas, ocorre a manutenção de resíduos vegetais na superfície, somada à ausência de revolvimento do solo; além da redução da emissão de CO<sub>2</sub> (CARVALHO et al., 2014; LOSS et al., 2013), aumento do estoque de carbono no solo (BOENI et al., 2014; GAZOLLA et al., 2015;) e ciclagem de nutrientes (BULLER et al., 2015; GEORGE et al., 2013), trazendo ainda mais benefícios, tais como: aumento da diversidade microbiana, melhoria da fertilidade e dos atributos físicos do solo (CHÁVEZ et al., 2011; CONTE et al., 2011a). A sustentabilidade dos sistemas produtivos melhora com a integração lavoura-pecuária (MORAINE et al., 2016).

A substituição da vegetação nativa por pastagens e agricultura reduzem os estoques de C, com perdas de 0,25-0,64 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, se não forem bem manejadas. O sistema ILP em áreas agrícolas mostrou evidências de que ela funciona como um dreno de C com taxas de acumulação que variam de 0,82 a 2,58 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (CARVALHO et al., 2014). O plantio direto, associado ao uso de forrageira, tem capacidade de estocar e sequestrar carbono em profundidade e pode ser considerado como alternativa sustentável para a mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> (CAMPOS et al., 2013). O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) acarreta em maiores liberações e acúmulos de CO<sub>2</sub> quando comparado com o SPD (LOSS et al., 2013). Comparativamente às culturas anuais e a áreas de vegetação natural, pastagens bem manejadas, ao longo do tempo, podem apresentar teores de C mais elevados no solo (ZIMMER et al., 2012). O papel fundamental das pastagens na redução dos fluxos

ambientais para a atmosfera e hidrosfera se faz através da associação dos ciclos do C e N na vegetação, na MOS e na biomassa microbiana do solo. A associação dos sistemas de pastagens com os sistemas de cultivo deve ajudar a mitigar os impactos ambientais negativos resultantes da intensificação dos sistemas de cultivo e melhorar a qualidade das pastagens através de renovações periódicas. Os sistemas de ILP, podem ser uma forma de intensificação ecológica necessária para alcançar a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental (LEMAIRE et al., 2014).

Nas camadas mais superficiais do solo a ILP promove a melhor estruturação do solo (SILVA et al., 2011a). A ILP associada com o SPD favorece o aumento dos índices de agregação do solo, e dos teores de matéria orgânica nos agregados, nas camadas mais superficiais do solo, em comparação ao sistema de plantio direto sem braquiária (LOSS et al., 2011). A agregação do solo aumenta nas áreas pastejadas (CONTE et al., 2011b). A integração dos fatores rotação de culturas, plantas de cobertura e pastejo bovino no sistema de ILP aumenta os teores de carbono e nitrogênio nos macroagregados do solo em comparação a área de SPD (LOSS et al., 2013), além da formação de agregados mais estáveis (PORTILHO et al., 2011). Foi observada estreita relação entre a estabilidade dos agregados e o teor de C no solo. As gramíneas atuam de maneira direta na formação e na estabilização de agregados do solo, devido à maior densidade de raízes e à liberação de exsudatos orgânicos no solo (BRANDÃO et al., 2012). Nas áreas de ILP com cobertura de *Urochloa decumbens* os autores observaram menores valores de densidade do solo e maiores teores de carbono orgânico total, em relação às diferentes coberturas estudadas, além de promover maiores índices de labilidade e de manejo de C, valores similares aos da vegetação de Cerrado (SCHIAVO et al., 2011). Avaliando diferentes plantas de cobertura em sucessão ao milho, Santos et al. (2014) encontraram que os maiores teores de C no solo foram obtidos pela cobertura com *U. ruziziensis*, destacando o C nas frações ácido húmico e C orgânico particulado. As culturas em rotação com pastagens produzem mais (GEORGE et al., 2013). Esse efeito é decorrente da melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo promovidas pelas pastagens (DE MORAES et al., 2014).

A qualidade do solo foi melhorada em sistemas integrados com maior número de componentes e maior interação entre esses componentes (ILP) em comparação com sistemas simples (SALTON et al., 2014). O manejo adequado e a integração de pastagens com culturas podem minimizar os efeitos ambientais nocivos da dissociação de C-N por herbívoros domésticos, aumentando assim as sinergias entre a produção de alimentos, a biodiversidade e vários outros serviços ecossistêmicos (SOUSSANA et al., 2014). Em ILP estabelecido há

apenas oito anos (ILP8) e o PD há 23 anos, foi verificado o acúmulo no estoque de C total de 101,0 (ILP8) e 104,2 Mg ha<sup>-1</sup> (PD) e N total de 5,5 (ILP8) e 5,8 Mg ha<sup>-1</sup> (PD), na camada 0–30 cm, bem como aumento no estoque de C e N nas frações lábeis e recalcitrantes da MOS (SILVA et al., 2011b). Em outro estudo sobre os estoques de COT em áreas com ILP, PD e vegetação natural de Cerrado (Cerradão) sob Latossolo Vermelho, GO, Loss et al. (2012) verificaram que os estoques de COT foram maiores na área de ILP (130,95 Mg ha<sup>-1</sup>) quando comparados com a área de Cerradão (125,34 Mg ha<sup>-1</sup>) e SPD (116 Mg ha<sup>-1</sup>) para a camada de 0-60 cm. A área de consórcio de pasto e milho proporcionou maior estoque de carbono na fração particulada, na camada mais superficial do solo (BATISTA et al., 2013). O acúmulo de carbono orgânico no solo ocorre, preferencialmente, sob a forma de matéria orgânica particulada, que é a fração mais sensível a alterações no manejo do solo (SCHIAVO et al., 2011). Os autores atribuíram essas diferenças ao efeito da integração de plantas de cobertura consorciadas com milho no sistema de ILP, propiciando a deposição de resíduos culturais de degradação mais lenta e, portanto, favorecendo o acúmulo de COT pela sua maior relação C/N (LOSS et al., 2012).

Em geral, a pastagem de braquiária é a cobertura de solo que proporciona índices de manejo de carbono no solo mais próximos aos da vegetação de cerrado (SCHIAVO et al., 2011). A introdução de braquiária no cultivo da soja em sistema de plantio direto apresentou efeito positivo, favorecendo o acúmulo de carbono orgânico no solo em todas as profundidades avaliadas quando comparadas com a área de Cerrado (ROSSI et al., 2011). No solo sob sistema misto, onde foram cultivados convencionalmente culturas anuais durante 15 anos e 15 anos de pastagem, houve um empobrecimento do teor de carbono especialmente em superfície se comparado à área sob vegetação nativa de Cerrado. No entanto, o solo recoberto com pastagem há 30 anos apresentou valores mais próximos daqueles encontrados na área sob vegetação nativa, tanto em superfície quanto em subsuperfície, o que evidencia a estabilidade do teor de carbono ao longo do tempo (RESENDE et al., 2015).

Salton et al. (2011) avaliaram a capacidade de sistemas de manejo do solo alterarem os teores e a dinâmica do carbono no solo. Os resultados obtidos demonstram que a pastagem, permanente ou em rotação com lavouras, aumentou o C na fração particulada e a labilidade da MOS. As maiores taxas de acúmulo e os maiores estoques de carbono foram obtidos nos sistemas com pastagem permanente, enquanto os menores valores ocorrem nos sistemas com lavouras e valores intermediários na ILP (SALTON et al., 2011).

Os sistemas de ILP podem atuar como fonte ou dreno de C atmosférico, dependendo da intensidade de pastejo. Sob intensidade de pastejo intenso, o sistema foi uma

fonte ( $0,04 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), e sob intensidade de pastejo leve, houve uma redução na faixa de  $0,25$  a  $0,37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (DA SILVA et al., 2014). O pastejo moderado aumenta a mistura de resíduos de forrageiras no solo, reduzindo a estratificação do C e aumentando suas reservas, associado com a excreção animal. O pastoreio moderado melhora as propriedades físicas do solo (STAVI et al., 2016). A densidade do solo não foi afetada significativamente pelo pastejo em profundidades inferior a 5 cm (GEORGE et al., 2013). Altas intensidades de pastejo (10 cm de altura do pasto) podem promover perdas nos estoques de C e N a partir do terceiro ano de ILP (SOUZA et al., 2009). As intensidades moderadas de pastejo (20 e 40 cm), e nove anos de ILP sob plantio direto promovem estoques de carbono orgânico e nitrogênio nas frações lábeis e estáveis semelhantes ao plantio direto, e eleva a qualidade dos solos semelhante às áreas não pastejadas (ASSMANN et al., 2014). Em relação à labilidade da MOS, intensidades moderadas de pastejo se equivalem à área sem pastejo (SOUZA et al., 2009).

O funcionamento da comunidade microbiana do solo é importante para a compreensão dos processos em nível de ecossistema. Os microrganismos do solo proporcionam respostas mais rápidas às mudanças no ambiente e, consequentemente, apresentam alto potencial de uso na avaliação da qualidade do solo (SIX et al., 2006). Os diferentes sistemas de manejos influenciam a atividade metabólica dos microrganismos presentes no solo (DOS SANTOS ALVES et al., 2011). As diferentes intensidades de pastejo alteram a biomassa microbiana do solo (CHÁVEZ et al., 2011). Altas intensidades de pastejo diminuem a qualidade biológica do solo em condições de sequeiro (SOUZA et al., 2010). Com intensidade moderada (20 a 40 cm) de pastejo, a diversidade funcional da microbiota é maior em comparação a áreas com alta intensidade de pastejo e áreas não pastejadas (CHÁVEZ et al., 2011). Maiores níveis de carbono da biomassa microbiana e enzimas de ciclagem de nutrientes são observadas em parcelas sob pastejo (GEORGE et al., 2013). O equilíbrio entre as eficiências de pastejo e conversão foi alcançado em pastagens geridas a 20 cm, indicando que esta altura do pasto pode fornecer massa de forragem suficiente para permitir o desempenho animal e a demanda de plantio direto pela cobertura do solo (KUNRATH et al., 2014), além de proporcionar melhoria na qualidade biológica do solo (SOUZA et al., 2010). A pastagem permanente e a ILP favorecem um ambiente edáfico biologicamente mais ativo, em relação aos outros sistemas cultivados (SILVA et al., 2011a), e favorece a manutenção da atividade microbiana ao longo das estações do ano (DOS SANTOS ALVES et al., 2011).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental Fazenda Água Limpa (FAL), da Universidade de Brasília, localizada em Vargem Bonita, Brasília, DF (15° 56' 40'' S e 47° 55' 43'' W e altitude de 1.090 m). Em área de um hectare que se encontrava em avançado estágio de degradação, foi implantado o consórcio de milho (*Zea mays*) com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai no ano de 2012 (Figura 1).

O experimento foi conduzido em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, com clima enquadrado segundo a classificação de Köppen como Aw típico tropical de savana e com estações de verão e inverno bem definidas: o verão é caracterizado por dias quentes e chuvosos e o inverno dias frios e secos, e possui precipitação média anual em 1600 mm, porém esta precipitação se concentrada entre os meses de Novembro e Abril. Os índices de precipitação pluviométrica e temperatura média, analisados durante o experimento (2012 a 2015) são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 3.** Precipitação pluviométrica e temperatura média (2012 - 2015).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Precipitação pluviométrica (mm)												
2012	243,4	196,4	131,8	76,4	59,4	16,2	1	0	26,4	74,4	374,4	136
2013	368,8	128,2	196,2	132,8	36,2	3,2	0	0	27,2	160,8	207,2	297,4
2014	101,6	131,4	407,4	206,4	12,6	4,6	1,4	0	11,6	69,4	437,8	189,6
2015	112,2	174,6	300,2	129,2	23,8	0,0	1,0	0	24,5	64,5	140,1	148,5
Temperatura média (°C)												
2012	20,35	20,75	21,13	21,23	18,42	18,71	17,62	18,61	21,53	22,2	21,37	21,75
2013	21,12	21,83	21,72	20,02	18,91	18,63	18,03	18,97	21,28	21,1	21,21	21,29
2014	21,15	20,99	20,73	20,85	18,81	17,64	17,1	18,86	22,02	21,96	21,44	20,89
2015	22,00	21,20	20,40	21,20	18,80	17,50	18,00	19,10	22,20	23,60	22,90	22,50

Dados: Estação meteorológica da FAL.

A análise dos atributos químicos no momento da implantação são apresentados na Tabela 2. Amostras de solos foram coletadas nessa área antes da implantação do experimento (outubro de 2012) e em março de 2016, na floração do milho, nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm, com cinco repetições. As amostras para determinação do CBM foram armazenadas em refrigerador.

**Tabela 4.** Caracterização química do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) antes da implantação do experimento.

Característica	Ano 1
Tipo de solo	LVd
pH em $\text{CaCl}_2$	5,2
Al ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )	0,09
Ca ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )	2,56
Mg ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ )	0,97
P-Mehlich ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,35
K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	19
SB	3,58
V%	42,7

LVd, Latossolo Vermelho distrófico; SB, Soma de Bases, V%, Saturação de Bases.

De acordo com os dados fornecidos pela análise química do solo (Tabela 02), foi recomendada calagem para a área e foi aplicado 1,5 toneladas de calcário dolomítico (PRNT 100%), aplicado em dezembro de 2012, e 200 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na forma de superfosfato simples para adubação corretiva sendo incorporado ao solo via grade niveladora. A semeadura de gramíneas foi realizado em meados de janeiro de 2013, a uma taxa de semeadura de 10kg/ha. Foi realizado o plantio do milho híbrido Agrocere AG1051 no espaçamento de 90 cm entre linhas e com adubação de semeadura de 400kg/ha sendo composta por uma mistura de 335 kg do formulado 04-30-16 + 15 kg de uréia + 50 kg de cloreto de potássio na segunda metade de janeiro de 2013. A população de plantas de milho ficou em média 6 plantas/metro linear totalizando 66.000 plantas/ha. A colheita do milho foi realizada em julho de 2013 e foi obtida a seguinte produtividades: Milho + *P. maximum* cv. Massai = 2.425 kg/ha de grãos. Para as safras seguintes, foram repetidos os mesmos procedimentos para correção do solo, adubação e condução das culturas.





**Figura 2.** Consórcio de milho com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai



**Figura 2.** Amostragem de solo na floração do milho.

Foram determinados os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) pelo método da irradiação-extração descrito por Ferreira et al. (1999). A quantidade de CBM foi determinada pela diferença entre o carbono extraído das amostras de solo irradiadas e o das não irradiadas, usando-se o fator de correção (kc) de 0,33 determinado por (Mendonça & Matos, 2005).

O carbono lábil (CL) foi determinado por oxidação em solução de permanganato de potássio. O procedimento foi realizado de acordo com Blair et al. (1995), adaptado por Shang & Tiessen (1997), onde o carbono lábil (CL) é considerado o C oxidável pela solução de  $\text{KMnO}_4$   $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ . A mudança na concentração de  $\text{KMnO}_4$  foi usada para estimar a quantidade de carbono oxidado, assumindo que  $1 \text{ mM MnO}_4$  é consumido ( $\text{MnVII} + \text{MnII}$ ) na oxidação de  $0,75 \text{ mmol}$  ou  $9 \text{ mg}$  de C.

A comparação entre a área antes e após a recuperação foi realizada por ANOVA e teste de comparação médias (Tukey;  $p < 0,05$ ).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

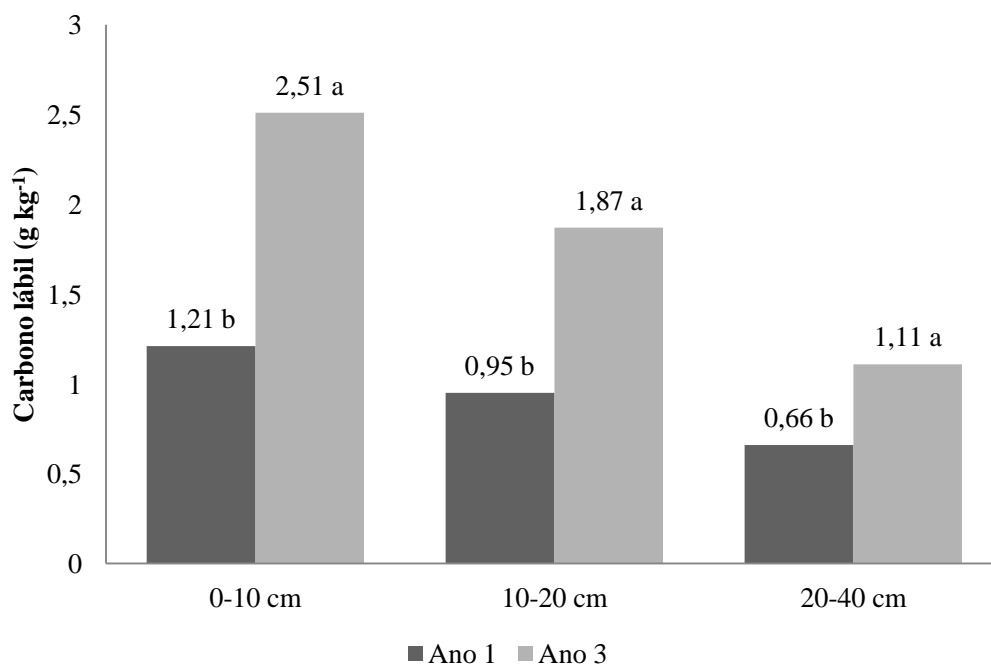
### 3.1 ALTERAÇÕES NO CARBONO LÁBIL APÓS IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

A implantação do consórcio de milho com *Panicum maximum* cv. Massai elevou os teores de CL em todas as profundidades avaliadas (Figura 3). O CL variou de 1,21 a 2,51 g kg<sup>-1</sup> de 0-10 cm, 0,95 a 1,87 g kg<sup>-1</sup> de 10-20 cm, 0,66 a 1,11 g kg<sup>-1</sup> de 20-40 cm contabilizando um aumento nos teores de CL na ordem de 52, 49 e 40%, respectivamente ( $p < 0,05$ ), em relação a área degradada.

Nesta fração, as maiores alterações foram encontradas na camada mais superficial do solo, porém as mudanças foram significativas em todas as profundidades avaliadas, evidenciando a sensibilidade do CL em detectar alterações da MOS em áreas submetidas à mudança no uso do solo (DA SILVA OLIVEIRA et al., 2017), principalmente quando comparada à sensibilidade do COT (SILVA et al., 2011b). Maiores teores de CL verificados no terceiro ano após a implantação do ILP, podem estar associados à maior deposição de biomassa proveniente do consórcio, que apresentaram maior produtividade após as adubações corretivas e de manutenção, para a cultura do milho. Pastagens sem uso de insumos fertilizantes, e consequentemente baixa produtividade, reduzem os teores de CL no solo (MEDICA et al., 2008), portanto as alterações de CL nas camadas avaliadas indica ter ocorrido incremento no aporte de material vegetal nessas profundidades, provavelmente em decorrência do sistema radicular abundante do *P. maximum* cv. Massay. Os resultados obtidos neste estudo são similares à outros estudos, em que comprovam que o incremento no CL da MOS está associada ao maior aporte de material vegetal (CONTE et al., 2011b; SALTON et al., 2011), e menor perturbação do solo (BOENI et al., 2014).

Alterações no CL são menores ao longo dos anos de implantação do ILP, visto que após sua recuperação, os ganhos são menores, como no estudo realizado por Silva et al. (2011b), em que a ILP com 8 anos apresentou acréscimo de 27% no CL em relação ao ILP de quatro anos. No presente estudo, no segundo de recuperação da pastagem degradada com o consórcio de *P. maximum* cv. Massay e milho, os teores de CL foram acrescidos em 47% em média.

As maiores perdas de CL ocorrem nas camadas mais superficiais do solo, em áreas manejadas comparadas com as nativas (MÜLLER et al., 2012), porém os maiores incrementos nesta fração também foram observados nas camadas mais superficiais do solo neste estudo. As pastagens tem potencial de recuperar os teores de CL similares aos encontrados na vegetação nativa (ROSSET et al., 2016). A ausência de pastejo, como neste estudo, ou o pastejo moderado promovem o aumento nos estoques de C e N nas frações da MOS (SOUZA et al., 2009), porém em altas intensidades de pastejo, ocorre a redução desses elementos, com degradação da qualidade da MOS (ASSMANN et al., 2014; PRINGLE et al., 2014).



**Figura 3.** Carbono lábil (g kg<sup>-1</sup>) em três profundidades, em área de consórcio de milho com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai. Ano 1: a área encontrava-se degradada (2012/2013); Ano 3: segundo ano após a recuperação da pastagem (2015/2016). Médias seguidas por letras iguais em cada profundidade não apresentam diferenças estatística pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

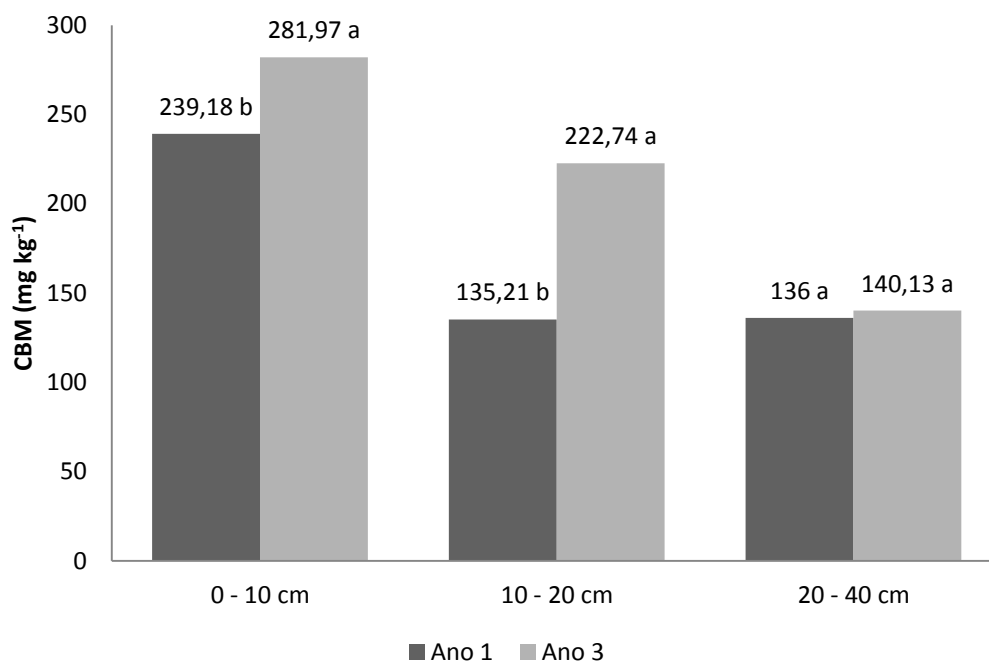
### 3.2. ALTERAÇÕES NO CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA APÓS IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

A implantação do consórcio de milho com *Panicum maximum* cv. Massai elevou os teores de CBM em todas as profundidades avaliadas (Figura 4). Os teores de CBM variaram de 239,18 a 281,97 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 0-10cm, 135,21 a 222,74 mg kg<sup>-1</sup> na camada de 10-20 cm, 136 a 140,13 mg kg<sup>-1</sup>. Os teores de CBM foram superiores na área com ILP na seguinte ordem: 15, 40 e 3% nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. As alterações no CBM ficaram restritos as camadas mais superficiais avaliadas, sendo a camada de 20-40 cm não sofrendo alterações significativas (p<0,05). Avaliando alterações no CBM na recuperação de uma pastagem degradada de *U. brizantha* com o uso da ILP, Muniz et al. (2011) encontrou valores de 159,30 mg kg<sup>-1</sup> para a pastagem degradada, e 454,60 mg kg<sup>-1</sup> para a pastagem após 3 anos de ILP, valor superior à vegetação nativa após a recuperação da pastagem.

A biomassa microbiana é a fração mais ativa da MOS, sendo esta considerada um reservatório lábil de nutrientes, que atua na decomposição de resíduos, no fluxo de energia no solo e na ciclagem de nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). Portanto, sistemas de manejo do solo que condicionam aumentos em atributos biológicos associados à biomassa microbiana proporcionam incremento na ciclagem de nutrientes e energia no sistema solo (SIQUEIRA et al., 1994). A biomassa microbiana proporcionou respostas rápidas às mudanças de uso no solo, apresentando alto potencial de uso como indicadores de qualidade do solo, resultado semelhante ao obtido por Six et al. (2006). O consórcio de pasto e milho proporcionou incremento significativo no CBM na camada 0-10 cm e 10-20 cm. Estas alterações no CBM podem ser ocasionadas pela maior adição de carbono particulado, sendo esta fração da MOS facilmente decomposta pela biomassa microbiana (BATISTA et al., 2013).

A conversão de áreas nativas de cerrado em pastagens pode reduzir 32% o CBM (KASCHUK et al., 2011), sendo esta redução atribuída à perda de biodiversidade (WENDILING et al., 2011). Logo a interação entre milho e pastagem melhora a qualidade do ambiente edáfico em relação ao monocultivo, e dependendo do manejo pode se aproximar dos ambientes naturais (JAKELAITIS et al., 2008). Os maiores teores de CBM são encontrados no Cerrado nativo, mas a cobertura permanente do solo e a ausência de práticas agrícolas proporcionam condições mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano (FRAZÃO et al., 2010). Dentre os sistemas de manejo agrícola avaliados por Salton et al. (2014), a pastagem perene apresentou maior CBM do que o plantio convencional e foi semelhante ao ILP e SPD.

Observa-se que quando bem manejadas as pastagens apresentam alto conteúdo de matéria orgânica e denso sistema radicular, favorecendo a existência de grande biomassa microbiana na rizosfera (DOS SANTOS ALVES et al., 2011). Estes resultados concluem que sistemas conservacionistas de manejo do solo oferecem maiores condições para o desenvolvimento de microrganismos no solo (MUNIZ et al., 2011; SALTON et al., 2014).



**Figura 4.** Carbono da biomassa microbiana (mg kg<sup>-1</sup>) em três profundidades, em área de consórcio de milho com a forrageira *Panicum maximum* cv. Massai. Ano 1: a área encontrava-se degradada (2012/2013); Ano 3: segundo ano após a recuperação da pastagem (2015/2016). Médias seguidas por letras iguais em cada profundidade não apresentam diferenças estatística pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4. CONCLUSÕES

O consórcio de milho com forrageiras de *Panicum maximum* cv. Massay elevou os teores de carbono nas frações CBM e CL da matéria orgânica, apesar do pouco tempo de adoção do sistema ILP. Entre as frações estudadas, o carbono lábil representou a fração mais sensível para expressar as mudanças na matéria orgânica causadas pela recuperação de área degradada com o uso de consórcio com milho e, portanto, um excelente indicador da qualidade do solo durante o processo inicial de adoção do sistema de integração lavoura-pecuária para recuperar uma pastagem degradada. O objetivo do estudo foi alcançado, visto que a implantação do sistema ILP elevou os teores de C na fração CL e CBM.

## Referências bibliográficas

- ASSIS, R. D., LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.
- ASSMANN, J. M., ANGHINONI, I., MARTINS, A. P., DE ANDRADE, S. E. V. G., CECAGNO, D., CARLOS, F. S., DE FACCIO CARVALHO, P. C. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 52-59, 2014.
- BATISTA, I., PEREIRA, M. G., CORREIA, M. E. F., BIELUCZYK, W., SCHIAVO, J. A., ROWS, J. R. C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6Supl1, p. 3377-3388, 2013.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., SANTOS, G. D. A., CAMARGO, F. D. O. Dinâmica e função da matéria orgânica. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 9-26, 1999.
- BOENI, M., BAYER, C., DIECKOW, J., CONCEIÇÃO, P. C., DICK, D. P., KNICKER, H., MACEDO, M. C. M. Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferralsols as revealed by CPMAS <sup>13</sup>C NMR: influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 80-86, 2014.
- BRANDÃO, E. D., SILVA, I. D. F. D. Formation and stabilization of aggregates by the grass root system in an Oxisol. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1193-1199, 2012.
- BULLER, L. S., BERGIER, I., ORTEGA, E., MORAES, A., BAYMA-SILVA, G., ZANETTI, M. R. Soil improvement and mitigation of greenhouse gas emissions for integrated crop–livestock systems: Case study assessment in the Pantanal savanna highland, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 137, p. 206-219, 2015.
- CAMBARDELLA, C. A., ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.
- CAMPOS, L. P., LEITE, L. F. C., MACIEL, G. A., BRASIL, E. L., IWATA, B. D. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, p. 304-312, 2013.
- CARVALHO, J. L. N., RAUCCI, G. S., FRAZÃO, L. A., CERRI, C. E. P., BERNOUX, M., CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014.
- CAVALCANTE, E. G., ALVES, M. C., DE SOUZA, Z. M., PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 237-243, 2011.
- CHÁVEZ, L. F., ESCOBAR, L. F., ANGHINONI, I., DE FACCIO CARVALHO, P. C., MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de



integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1254-1261, 2011.

CONTE, O., FLORES, J. P. C., CASSOL, L. C., ANGHINONI, I., CARVALHO, P. C. D. F., LEVIEN, R., WESP, C. D. L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: 1977. Brasília. Vol. 46, n. 10 (oct. 2011), p. 1301-1309, 2011a.

CONTE, O.; WESP, C. D. L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. D. F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 579-587, 2011b.

DA SILVA OLIVEIRA, D. M., PAUSTIAN, K., COTRUFO, M. F., FIALLOS, A. R., CERQUEIRA, A. G., CERRI, C. E. P. Assessing labile organic carbon in soils undergoing land use change in Brazil: A comparison of approaches. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 411-419, 2017.

DA SILVA, E. F., LOURENTE, E. P. R., MARCHETTI, M. E., MERCANTE, F. M., FERREIRA, A. K. T., FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2012.

DA SILVA, F. D., AMADO, T. J. C., FERREIRA, A. O., ASSMANN, J. M., ANGHINONI, I., DE FACCIO CARVALHO, P. C. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 60-69, 2014.

DE MORAES, A., DE FACCIO CARVALHO, P. C., ANGHINONI, I., LUSTOSA, S. B. C., DE ANDRADE, S. E. V. G., KUNRATH, T. R. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, 2014.

DIAS-FILHO, M. B.. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 243-252, 2011.

DOS SANTOS ALVES, T., CAMPOS, L. L., NETO, N. E., MATSUOKA, M., LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos-[doi: 10.4025/actasciagron.v33i2.4841](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

DOS SANTOS ALVES, T., CAMPOS, L. L., NETO, N. E., MATSUOKA, M., & LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos-[doi: 10.4025/actasciagron.v33i2.4841](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841). **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-do-cerrado>. Acesso em: 15 de julho de 2016.

ENSINAS, S. C., MARCHETTI, M. E., DA SILVA, E. F., POTRICH, D. C., MARTINEZ, M. A. Atributos químicos, carbono e nitrogênio total em latossolo submetido a diferentes sistemas de uso do solo –[doi:10.14688/1984-3801/gst](https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst). **Global science and technology**, v. 7, n. 2, p. 24-36, 2014.

- EUCLIDES, V. P. B., MACEDO, M. C. M., ZIMMER, A. H., MEDEIROS, R. N. D., OLIVEIRA, M. P. D. Pasture characteristics of *Panicum maximum* cv. Tanzânia fertilized with nitrogen in the end of summer. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1189-1198, 2007.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O., VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:991-996, 1999.
- FIGUEIREDO, C.C., RESCK, D.V., CARNEIRO, M.A., RAMOS, M.L. G., SÁ, J.C. M. Stratification ratio of organic matter pools influenced by management systems in a weathered Oxisol from a tropical agro-ecoregion in Brazil. **Soil Research**, v. 51, p. 133-141, 2013.
- FRANZLUEBBERS, A. J., STUEDEMANN, J. A., WILKINSON, S. R. Bermudagrass management in the Southern piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 3, p. 834-841, 2001.
- GAZOLLA, P. R., GUARESCHI, R. F., PERIN, A., PEREIRA, M. G., ROSSI, C. Q.. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.
- GEORGE, S., WRIGHT, D. L., MAROIS, J. J. Impact of grazing on soil properties and cotton yield in an integrated crop–livestock system. **Soil and Tillage Research**, v. 132, p. 47-55, 2013.
- JUNIOR, A. B., MORAES, A., VEIGA, M., PELISSARI, A., DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.
- KASCHUK, G., ALBERTON, O., HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant and soil**, v. 338, n. 1-2, p. 467-481, 2011.
- KLUTHCOUSKI, J., PACHECO, A. R., TEIXEIRA, S. M., & OLIVEIRA, E. D. **Renovação de pastagens de cerrado com arroz: I. Sistema Barreirão**. Goiânia, Goiás, Brazil: EMBRAPA-CNPAP, 20 p., 1991.
- KUNRATH, T. R., CADENAZZI, M., BRAMBILLA, D. M., ANGHINONI, I., DE MORAES, A., BARRO, R. S., DE FACCIO CARVALHO, P. C. Management targets for continuously stocked mixed oat× annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop–livestock system. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 71-76, 2014.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.
- LEMAIRE, G., FRANZLUEBBERS, A., DE FACCIO CARVALHO, P. C., DEDIEU, B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.
- LOSS, A., COSTA, E. M., PEREIRA, M. G., BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 113, n. 1, p. 1-8, 2014.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., BEUTLER, S. J., PERIN, A., DOS ANJOS, L. H. C. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2153-2168, 2013.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., PERIN, A., DOS ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 8, p. 96, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MARCHÃO, R. L., BECQUER, T., BRUNET, D., BALBINO, L. C., VILELA, L., BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 442-450, 2009.

MEDICA, J.A.S.; DA SILVA, P. S.; WENDLING, B.; CORRÊA, G. B.; Formas lábeis de carbono em Latossolo da região de Iraí de Minas-MG submetido a diferentes usos e manejos. In: semana do servidor, 4a.; semana acadêmica, 5a. UFU. Uberlândia, MG. 7p, 2008.

MORAINE, M., GRIMALDI, J., MURGUE, C., DURU, M., THEROND, O. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. **Agricultural Systems**, v. 147, p. 87-97, 2016.

MÜLLER, C. B., WEBER, O. L. D. S., SCARAMUZZA, J. F. Oxidizable fraction of organic carbon in an Argisol under different land use systems. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 215-222, 2012.

MUNIZ, L. C., MADARI, B. E., TROVO, J. B. D. F., CANTANHÊDE, I. S. D. L., MACHADO, P. L. O. D. A., COBUCCI, T., FRANÇA, A. F. D. S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop-livestock integrated system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1262-1268, 2011.

NETO, M. S., SCOPEL, E., CORBEELS, M., CARDOSO, A. N., DOUZET, J. M., FELLER, C., BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: an on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 187-195, 2010.

PLANO ABC. Plano Setorial de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>> Acesso em: 20 de outubro de 2016.

PORTILHO, I. I. R., CREPALDI, R. A., BORGES, C. D., SILVA, R., SALTON, J. C., MERCANTE, F. M. Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1310-1320, 2011.

RESENDE, T. M., ROSOLEN, V., BERNOUX, M., BRITO, J. L. S., BORGES, E. N., ALMEIDA, F. P. Physical attributes and organic carbon in soil under brazilian Savannah converted to pasture and mixed system. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, p. 501-513, 2015.

ROSCOE, R., BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 70, n. 2, p. 107-119, 2003.

ROSSET, J. S., DO CARMO LANA, M., PEREIRA, M. G., SCHIAVO, J. A., RAMPIM, L., SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSI, C. Q., PEREIRA, M. G., GIÁCOMO, S. G., BETTA, M., POLIDORO, J. C.. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2011.

SALTON, J. C., MERCANTE, F. M., TOMAZI, M., ZANATTA, J. A., CONCENÇO, G., SILVA, W. M., RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SALTON, J. C., MIELNICZUK, J., BAYER, C., FABRÍCIO, A. C., MACEDO, M. C. D. M., BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**: 1977. Brasília. Vol. 46, n. 10 (out. 2011), p. 1349-1356, 2011.

SANTOS, I. L. D., CAIXETA, C. F., SOUSA, A. A. T. C. D., FIGUEIREDO, C. C. D., RAMOS, M. L. G., & CARVALHO, A. M. D. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1874-1881, 2014.

SCHIAVO, J. A., COLODRO, G.. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 406-412, 2012.

SCHIAVO, J. A., ROSSET, J. S., PEREIRA, M. G., SALTON, J. C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1332-1338, 2011.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical Oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, p. 795-807, 1997.

SILVA, E. D., LOURENTE, E. P. R., MARCHETTI, M. E., MERCANTE, F. M., FERREIRA, A. K. T., FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011b.

SILVA, R. D., GUIMARÃES, M. D. F., AQUINO, A. D., MERCANTE, F. M. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1277-1283, 2011a.

SIQUEIRA, J., MOREIRA, F. D. S., MOREIRA, F. D. S., SIQUEIRA, J. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora da Ufla, p. 305-329, 2002.

SIX, J., FREY, S. D., THIET, R. K., BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, n. 2, p. 555-569, 2006.

SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. **Soil Biochemistry**, v. 6, p. 357-396, 1990.

SOUSA, D. D., LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSSANA, J. F., LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 9-17, 2014.

SOUZA, E. D. D., COSTA, S. E. V. G. A., ANGHINONI, I., LIMA, C. V. S. D., CARVALHO, P. C. D. F., MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

SOUZA, E. D. D., COSTA, S. E. V. G. D. A., ANGHINONI, I., CARVALHO, P. C. D. F., ANDRIGHETTI, M. H., CAO, E. G. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 33, n. 6, p. 1829-1836, 2009.

STAVI, I.; ARGAMAN, E.; ZAADY, E. Positive impact of moderate stubble grazing on soil quality and organic carbon pool in dryland wheat agro-pastoral systems. **Catena**, 2016.

VON LÜTZOW, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; EKSCHMITT, K.; FLESSA, H.; GUGGENBERGER, G.; MATZNER, E.; MARSCHNER, B. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 9, p. 2183-2207, 2007.

WENDLING, B., JUCKSCH, I., DE SÁ MENDONÇA, E., VINHAL-FREITAS, I. C. CARBON AND NITROGEN CHANGES IN DIFERENT COMPARTIMENTS OF THE ORGANIC MATTER UNDER AGRO-FORESTRY PASTURE SYSTEM. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 641-653, 2011.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. Recuperação de pastagens degradadas. In: Curso de Capacitação do Programa Abc, 2011, Brasília. Apostila. Brasília: MAPA; 47 p. Embrapa, 2011.

ZIMMER, A., MACEDO, M., KICHEL, A., ALMEIDA, R. D. Degradação, recuperação e renovação de pastagens. **Embrapa Gado de Corte**, 2012.

ZINN, Y. L., LAL, R., RESCK, D. V. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.